

УДК 669.295.

Н. А. Худякова, Н. А. Баранникова, А. Г. Илларионов *

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

*illarionovag@mail.ru

Научный руководитель — доц., канд. техн. наук А. Г. Илларионов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР И ИХ ВЗАИМОСВЯЗИ С ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ В СПЛАВЕ ТИТАНА ПТ-7М

В работе с использованием программы для термодинамических расчетов Thermo-Calc определены температуры полиморфного ($\alpha+\beta$)-превращения ($T_{\text{пп}}$), солидуса (T_{sol}), ликвидуса (T_{liq}) в α -сплаве титана ПТ-7 М в пределах марочного состава и установлена их взаимосвязь с химическим составом сплава через предложенные «алюминиевые эквиваленты» $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{пп}}}$, $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{sol}}}$, $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{liq}}}$.

Ключевые слова: сплав титана ПТ-7 М, Thermo-Calc, химический состав, фазовый состав, температура ликвидуса, температура солидуса, температура полиморфного превращения, алюминиевый эквивалент

N. A. Khudyakova, N. A. Barannikova, A. G. Illarionov

DETERMINATION OF CHARACTERISTIC TEMPERATURES AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE CHEMICAL COMPOSITION IN TITANIUM ALLOY PT-7M

In the work, using the program for thermodynamic calculations Thermo-Calc, the polymorphic ($\alpha+\beta$)-transformation (T_{pt}), solidus (T_{sol}), liquidus (T_{liq}) temperatures in the α -alloy PT-7M in range of alloy composition were determined and their relationship with the chemical composition of the alloy through the proposed “aluminum equivalents” $\text{Al}_{\text{ekv}}^{T_{\text{pt}}}$, $\text{Al}_{\text{ekv}}^{T_{\text{sol}}}$, $\text{Al}_{\text{ekv}}^{T_{\text{liq}}}$ was established..

Key words: titanium alloy PT-7 M, ThermoCalc, chemical composition, phase composition, liquidus temperature, solidus temperature, polymorphic transformation temperature, aluminum equivalent

Сплавы титана на основе α -фазы ПТ-7М (Ti–2Al–2,5Zr — в мас. %) широко используются для производства коррозионноустойчивых труб, работающих при умеренных и повышенных температурах [1]. При получении слитков и деформированных полуфабрикатов из титановых сплавов, включая ПТ-7 М, необходимо знание характеристических температур — полиморфного ($\alpha + \beta$) \Leftrightarrow β -превращения ($T_{\text{пп}}$), солидуса (T_{sol}), ликвидуса (T_{liq}), которые зависят от плавочного химического сплава и довольно трудоемки для определения экспериментальным путем. Определение данных температур также возможно на основании данных расчета фазовых равновесий в сплаве заданного химического состава, в частности в программном комплексе Thermo-Calc [2]. Исходя из этого в работе с использованием программного комплекса Thermo-Calc проведен расчет фазовых равновесий в широком температурном диапазоне (вплоть до перехода в жидкое состояние) в сплаве ПТ-7М и получены следующие результаты.

Рассчитано изменение фазового состава сплава ПТ-7М в зависимости от температуры нагрева и химического состава сплава в пределах марки и на основании анализа полученных данных определены соответствующие характеристические температуры $T_{\text{пп}}$, T_{liq} , T_{sol} . Исходя из двойных диаграмм состояния «Ti–химический элемент» [3] предложены формулы для расчета так называемых алюминиевых эквивалентов $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{пп}}}$, $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{liq}}}$, $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{sol}}}$ для сплава ПТ-7 М разного состава. Данные эквиваленты показывают, какому «эквивалентному» содержанию алюминия в двойной системе Ti–Al соответствует совокупное содержание легирующих элементов и примесей в сплаве конкретного состава с точки зрения их влияния на $T_{\text{пп}}(\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{пп}}})$, $T_{\text{sol}}(\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{sol}}})$, $T_{\text{liq}}(\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{liq}}})$.

Установлено, что между температурами $T_{\text{пп}}$, T_{liq} , T_{sol} , параметром $\Delta T (T_{\text{liq}} - T_{\text{sol}})$ и $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{пп}}}$, $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{liq}}}$, $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{sol}}}$, $(\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{liq}}} - \text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{sol}}})$ соответственно, наблюдается линейная корреляционная зависимость. Обнаружено, что полученный при расчете $T_{\text{пп}}$ коэффициент пропорциональности при $\text{Al}_{\text{экв}}^{T_{\text{пп}}}$ равен 14-ти, и это значение хорошо согласуется с имеющимися литературными данными [4] по влиянию алюминия на $T_{\text{пп}}$ в титановых сплавах, содержащих до 2 % алюминия. Из сравнения рассчитанных T_{liq} для сплава ПТ-7 М разного состава с имеющимися литературными данными T_{liq} для различных двухфазных ($\alpha + \beta$)-титановых сплавов [5] обоснованы более высокие значения T_{liq} в α -сплаве ПТ-7М вследствие отсутствия в нем легирующих элементов β -эвтектоидообразующих ста-

билизаторов, снижающих T_{liq} , по сравнению с большинством двухфазных сплавов титана.

Показана адекватность полученных на сплаве ПТ-7М линейных зависимостей $\Delta T - (Al_{\text{экв}}^{T_{\text{liq}}} - Al_{\text{экв}}^{T_{\text{sol}}})$, что создает перспективы их использования при оптимизации состава сплава для получения узкого интервала кристаллизации с наиболее высокими литейными свойствами.

*Исследование выполнено по гранту при финансовой поддержке
Российского научного фонда (проект № 18–79–10107).*

Литература

1. Ильин А. А., Колачев Б. А., Полькин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства : справочник. М. : ВИС–МАТИ, 2009. 520 с.
2. Худякова Н. А. Определение температуры полиморфного $(\alpha+\beta) \rightarrow \beta$ -превращения в α -сплаве титана расчетными методами / Н. А. Худякова [и др.] // Материалы XVIII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов — молодых ученых. Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 259–262.
3. Murray J. L. Phase diagrams of binary titanium alloys // Metals Park, Ohio: ASM International, 1987. 345 p.
4. Effect of Deformation rate on microstructure and tensile properties of cold rolled Ti–3Al–2,5V alloy tube / Qiang Liao [et al.] // Ti 2011 — Proceedings of the 12th World Conference on Titanium, 2012. V. 1. P.278–281.
5. Производство фасонных отливок из титановых сплавов / Е. Л. Биби-ков [и др.]. М. : Металлургия, 1983. 296 с.